基于三维激光扫描的桥梁钢结构构件质量检查方法研究

杜伸云 胡 伟

（中铁四局集团管理研究院，合肥 230000）

【摘 要】作为一种新的数据获取手段，三维激光扫描仪可以快速、精确和高效地获取目标的三维激光点云数据，这突破了传统的测量和数据处理方法。本文综述了三维激光扫描技术在桥梁钢结构的复杂构件质量检查中的应用方法。

【关键词】三维激光扫描；桥梁钢结构；质量检查
【中图分类号】TU17；TU391 【文献标识码】A 【文章编号】1674－7461(2017)05－0113－05
【DOI】10.16670/j.cnki.cn11－5823/tu.2017.05.21

1 使用背景

钢结构BIM设计自上世纪90年代末被引入替代2D－CAD设计至今已经10多年，过去通常我们称之为钢结构三维实体建模，其作用也通常停留在建模和出图过程中，设计人员常常关注的是建模和出图过程的效率，但随着建筑业BIM概念越来越被推广、研究和应用，钢结构BIM软件商也越来越注重输出信息接口的标准化，一方面足以支撑对建筑BIM的协同，另一方面BIM模型本身包含的信息在后续钢结构制作厂家内的管理和制作流程中的完整应用也正被充分重视、研究、应用和拓展中。

三维激光扫描技术能做到快速、精确直接获取被测物体的三维点云数据，无需进行任何实物表面处理，其激光点云中的每个三维数据都是直接采集目标的真实数据，使得后期处理的数据完全真实可靠。技术上突破了传统的单点测量方法，其最大特点就是精度高、速度快。三维激光扫描技术目前已在众多领域得到了广泛应用，尤其在建筑设计以及恢复重建方面，可以深入到任何复杂的现场环境及空间中进行扫描操作，并直接将各种大型的、复杂的、不规则、标准或非标准等实体或实景的三维数据完整的采集到计算机系统中，进而快速重构出目标的三维模型及线、面、体、空间等各种制图数据。

2 应用目的

桥梁钢结构的结构形式复杂、体量较大，且构件之间的空间关联性也较多，因此对构件的加工制造精度要求很高。复杂构件的质量检查也是重难点，也关乎整个钢结构桥梁施工的质量、安全及进度。按传统的钢卷尺测量方法，难以全面、精确地检查复杂构件的质量，而基于三维激光扫描技术的数字化检验方法很好地解决了这一难题。本文从钢结构BIM模型创建后，主要介绍其在钢结构在加工制造中的全尺寸测量与质量把控和钢结构预拼装技术中的重点应用。

3 软硬件配置

钢结构几何参数摄影测量系统主要两大部分组成：移动式C－Track高清双CCD设备跟踪器、便携式高精度三维激光采集器。软件部分：质量分析软件。系统详细组成见表1。

【基金项目】 基于BIM的铁路工程建设与管理关键技术研究（项目编号:2016X002）
【作者简介】 杜伸云（1984－），男，BIM研究经理。主要研究方向：BIM技术应用。

表 1　系统详细组成见



项目名称	图示	备注
手持式高精度三维激光数据采集系统		
高清双 CCD 设备跟踪器		
质量分析软件		

4　工艺流程及原理

基于三维激光扫描技术的数字化质量检查技术是运用三维激光扫描仪采集构件的空间几何信息，并在专业软件中将构件的 BIM 模型与扫描采集的点云数据进行对比分析，从而达到检查构件加工制造精度的一种方法，其主要流程见图 1。

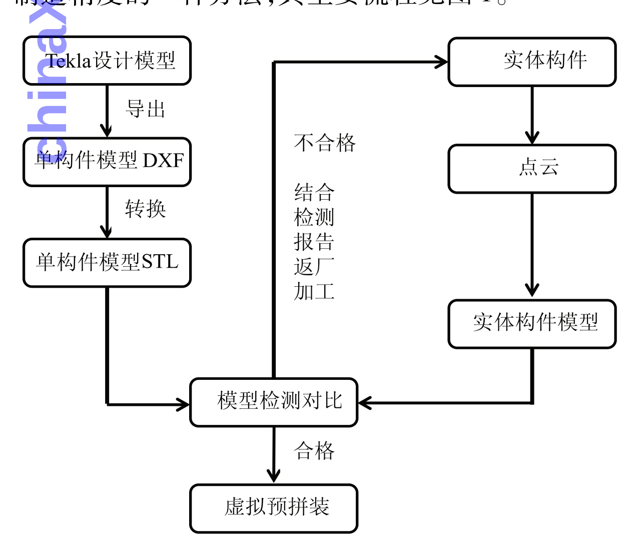


图 1　数字化构件质量检查流程

5　质量检查实施过程

5.1　数据采集

根据构件的复杂程度，提前规划三维激光扫描仪的设站点，以确保最大程度地采集构件的三维信息。规划好数据采集点后，按规划的设站点逐点扫描（见图 2）采集构件的三维点云数据。

5.2　数据解算

将采集到的多站点三维激光点云数据进行匹配和解算，生成完整的构件三维激光点云数据，再通过数据去噪、剔除等操作保留所需构件的点云数据，转化为 *. STL 格式（见图 3）。

5.3　数据融合

通过模型数据与点云数据的特征点、线、面等参考信息，在专业软件中将模型数据与点云数据进行配准，实现两者数据的融合（见图 4），从而为下一步数据对比分析做好准备。

5.4　数据分析

在专业软件中将配准后的融合模型进行误差分析，通过三维模型直观显示 BIM 模型与扫描模型之间的偏差情况。偏差云图详细展示了偏差的最大值及其具体位置（见图 5）。

5.5　结果输出

可以直接测量扫描模型的实际尺寸，同时还可以将偏差分析结果以数据报表及直方图的形式输出，直观展示构件的加工制造偏差值及偏差分布情况（见图 6），通过与设计要求及铁路钢桥制造规范等标准文件对比评判构件加工的几何尺寸是否合格。

6　经济效益分析

通过三维扫描创新技术可以为钢结构构件的生产提供技术储备，加快检测速度，提高生产效率，为钢结构及构件生产提供经济效益的保障，进一步增强市场竞争能力，具有良好的经济效益和社会效益。

7　结语

三维激光扫描仪在钢结构桥梁构件质量检查中的应用，为大型复杂构件的质量检查提供了一种新的方法，该方法具有信息全面、智能分析、可视化等优点，同时还便于数据长期保存和调用，但也存在一定的不足，如：数据处理时间较长、设备价格较高等。相信不久的将来，随着三维激光扫描技术相关软硬件的发展，其扫描和数据分析处理的能力和



图 2　三维激光扫描采集构件数据

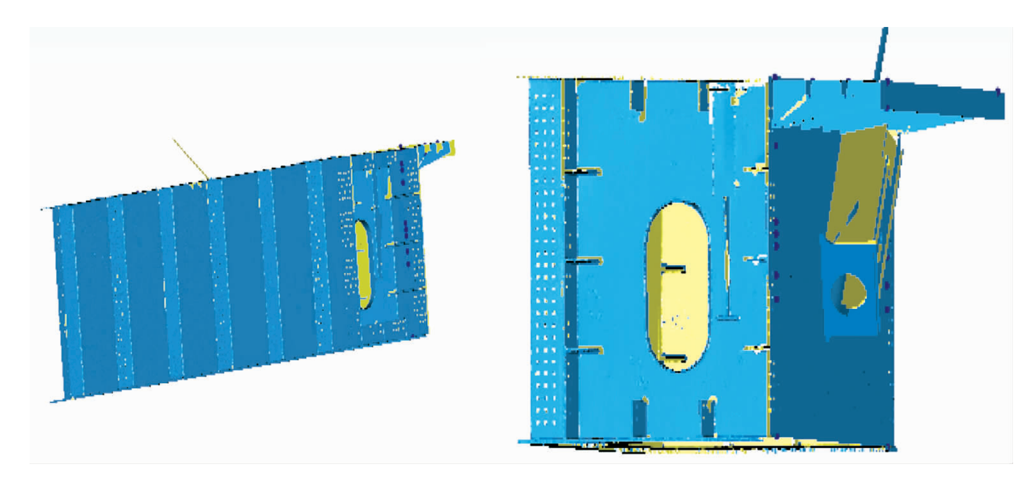


图 3　点云数据解算结果

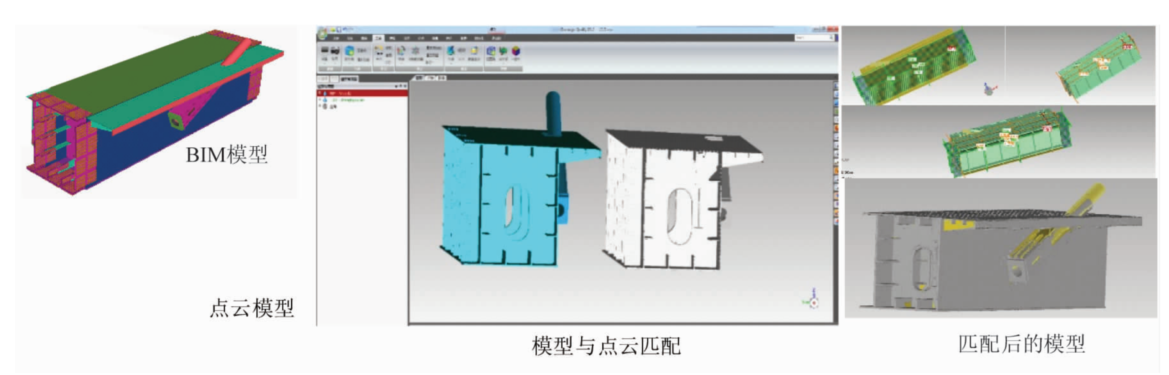


图 4　模型与点云匹配过程

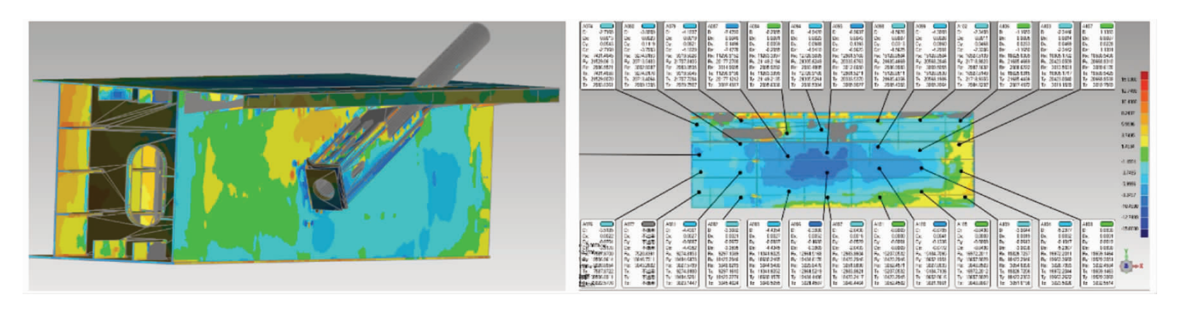
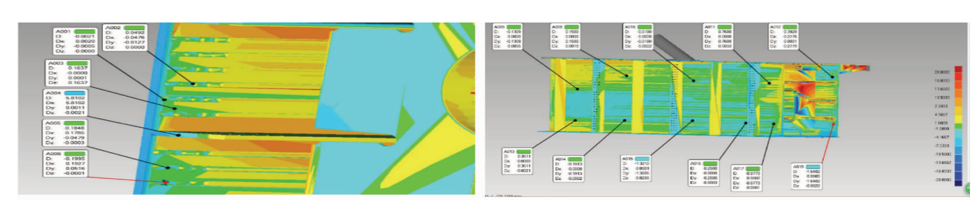


图 5　构件制造偏差分析

土木建筑工程信息技术
Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture



）、3D 检测与预拼装参考值、测试值、偏差值生成

名称	偏差	状态	上公差	下公差	参考 X	参考 Y	参考 Z	偏差半径	偏差 X	偏差 Y	偏差 Z	Measured X	Measured Y	Measured Z	法线 X	法线 Y	法线 Z
A001	0.4160				513.4001	31140.1600	2204.6614	200.0000	-0.2941	0.0000	0.2941	513.1060	31140.1600	2204.9555	-0.7071	0.0000	0.7071
A002	1.4518				675.7058	31150.0000	1909.3404	200.0000	0.0000	1.4518	0.0000	675.7058	31151.4518	1909.3404	0.0000	1.0000	0.0000
A003	23.2249				1185.0965	29328.0790	999.7219	200.0000	-23.2249	0.0000	-0.0000	1161.8716	29328.0790	999.7219	-1.0000	0.0000	0.0000
A004	-0.1978				225.6733	28880.0000	1517.3683	200.0000	0.0000	-0.1978	0.0000	225.6733	28879.8022	1517.3683	0.0000	1.0000	0.0000
A005	-0.1053				520.7637	28880.0000	703.7588	200.0000	0.0000	-0.1053	0.0000	520.7637	28879.8947	703.7588	0.0000	1.0000	0.0000
A006	0.4410				485.7081	28880.0000	-136.1005	200.0000	0.0000	0.4410	0.0000	485.7081	28880.4410	-136.1005	0.0000	1.0000	0.0000
A007	-0.5585				156.9594	29820.5294	-311.0077	200.0000	0.0000	0.0000	-0.5585	156.9594	29820.5294	-311.5662	0.0000	0.0000	1.0000
A008	1.0142				682.3458	31150.0000	392.0739	200.0000	0.0000	1.0142	0.0000	682.3458	31151.0142	392.0739	0.0000	1.0000	0.0000
A009	0.3267				3180.0962	31325.9396	1717.1942	200.0000	-0.3267	0.0000	0.0000	3179.7695	31325.9396	1717.1942	-1.0000	0.0000	0.0000
A012	0.1266				437.7104	30605.1752	-311.0077	200.0000	0.0000	0.0000	0.1266	437.7104	30605.1752	-310.8812	0.0000	0.0000	1.0000
A013	-0.0300				419.1182	31140.1484	2314.8595	200.0000	0.0290	0.0000	-0.0078	419.1472	31140.1484	2314.8517	-0.9659	0.0000	0.2588
A014	-0.3305				417.6388	31135.2718	2409.8374	200.0000	0.3192	0.0000	-0.0855	417.9581	31135.2718	2409.7518	-0.9659	0.0000	0.2588
A015	-0.2643				517.8867	31133.5154	2410.8957	200.0000	0.2553	0.0000	-0.0684	518.1420	31133.5154	2410.8273	-0.9659	0.0000	0.2588
A016	0.3111				417.3346	31134.0330	2208.4627	200.0000	-0.2200	0.0000	0.2200	417.1146	31134.0330	2208.6827	-0.7071	0.0000	0.7071
A017	0.3982				518.7888	31140.7464	2213.2672	200.0000	-0.3847	0.0000	0.1031	518.4042	31140.7464	2213.3702	-0.9659	0.0000	0.2588
A018	0.3940				316.3256	31133.1652	2207.3205	200.0000	-0.2786	0.0000	0.2786	316.0469	31133.1652	2207.5991	-0.7071	0.0000	0.7071
A019	0.0209				318.4327	31139.8218	2312.1678	200.0000	-0.0202	0.0000	0.0054	318.4125	31139.8218	2312.1732	-0.9659	0.0000	0.2588
A020	0.2068				218.1195	31136.3995	2310.8656	200.0000	-0.1998	0.0000	0.0535	217.9197	31136.3995	2310.9191	-0.9659	0.0000	0.2588
A021	0.4949				9203.0961	31296.9428	2201.1297	200.0000	0.4949	0.0000	0.0000	9203.5910	31296.9428	2201.1297	1.0000	0.0000	0.0000
A022	-0.1881				9210.2771	31150.0000	1205.7250	200.0000	0.0000	-0.1881	0.0000	9210.2771	31149.8119	1205.7250	0.0000	1.0000	0.0000
A023	0.4163				11210.0961	31449.4409	992.6896	200.0000	0.4163	0.0000	0.0000	11210.5124	31449.4409	992.6896	1.0000	0.0000	0.0000
A024	0.4226				7210.0962	31373.6966	2211.8690	200.0000	0.4226	0.0000	0.0000	7210.5188	31373.6966	2211.8690	1.0000	0.0000	0.0000
A025	0.2279				5205.0596	31454.9516	2150.3207	200.0000	0.2279	0.0000	0.0000	5205.2875	31454.9516	2150.3207	1.0000	0.0000	0.0000
A026	0.2083				3210.0961	31508.4974	2174.7888	200.0000	0.2083	0.0000	0.0000	3210.3044	31508.4974	2174.7888	1.0000	0.0000	0.0000
A027	0.3182				1203.0961	31318.0457	2443.3551	200.0000	0.3182	0.0000	0.0000	1203.4144	31318.0457	2443.3551	1.0000	0.0000	0.0000
A028	0.5898				1203.0962	31174.4596	-12.8298	200.0000	0.5898	0.0000	0.0000	1203.6860	31174.4596	-12.8298	1.0000	0.0000	0.0000
A029	0.2523				3210.0963	31520.1981	112.0985	200.0000	0.2523	0.0000	0.0000	3210.3486	31520.1981	112.0985	1.0000	0.0000	0.0000
A030	-0.4688				5225.7926	31150.0000	-124.1473	200.0000	0.0000	-0.4688	0.0000	5225.7926	31149.5312	-124.1473	0.0000	1.0000	0.0000
A031	0.5761				7210.0963	31332.4693	-91.8882	200.0000	0.5761	0.0000	0.0000	7210.6724	31332.4693	-91.8882	1.0000	0.0000	0.0000
A032	0.5173				9203.0962	31285.4864	593.4752	200.0000	0.5173	0.0000	0.0000	9203.6135	31285.4864	593.4752	1.0000	0.0000	0.0000
A033	0.6433				11210.0960	31371.1580	-55.7767	200.0000	0.6433	0.0000	0.0000	11210.7393	31371.1580	-55.7767	1.0000	0.0000	0.0000
A034	-1.4543				9855.2970	28880.0000	-22.4549	200.0000	0.0000	-1.4543	0.0000	9855.2970	28878.5457	-22.4549	0.0000	1.0000	0.0000
A035	0.7217				9605.9491	29635.0000	-111.0136	200.0000	0.0000	0.7217	0.0000	9605.9491	29635.7217	-111.0136	0.0000	1.0000	0.0000

图 6　构件加工偏差分析报表

表 2

项目比较	人工	三维扫描仪	备注
投入人员	一个班组 8 人	2 人	可以减少 6 名工作人员
成本	按照每人每月 5 000 元工资，一年人力支持成本 48 万左右	设备总支出成本 260 万	随着市场发展人力成本日益增长，按照长久发展，5 年左右可以收回成本，10 年可以减少人力成本近 240 万左右
工作效率	现场模拟预拼装，费时费力，构件的试拼装大概在一周左右	扫描一个整体构件在 8 小时（可降低 3 – 4 小时）	构件本身平面居多，可以重点扫描孔位，平面可以简带，减少扫描时间
数据完整性	不完整，复杂曲面尺寸测量误差大	数据完整，精度可控制	扫描仪俗称实景复制技术，扫描数据和构件本身 1:1，可以直接看出设计和生产之间的差异
成果精度	不可控	设备本身精度 0.03mm	扫描仪扫描数据完整，精度可靠，可以全面的反应出构件的质量问题
实用性	对于异形曲面仍无法准确的测量，且在拼装过程中存在安全隐患	任何加工构件都可以进行扫描分析	手持式扫描仪实用于仍和部件扫描，且进行产品分析
构件出厂质检证明	构件出厂后如发生形变及尺寸问题，采用人工皮尺测量，不足以说明是构件运输过程出现形变还是生产问题，皮尺测量结果没有可靠性	可以完整的对构件进行扫描，数据完整可靠，精度高，数据充分，可以避免成产加工不合格等问题	构件出厂后在运输过程中可能回形变，到施工现场无法安装，导致，从而会提高返厂维修等，从而增加生产单位的运输成本，及人力成本
技术创新	无	技术创新为企业创新活动的核心内容，三维扫描仪俗称实景复制技术，采用三维扫描仪技术可以提高产品质量，提高新的价值，提高市场占有率，提高品牌核心竞争力	技术创新是国家发展战略的核心，三维扫描仪俗称实景复制技术，采用三维扫描仪技术可以全面的对构件进行尺寸分析为后期的质检分析提供强有力的依据

备注：按照上述表格来看，采用三维扫描技术不仅可以提高生产的质量，提高市场占有率及品牌的核心竞争力，从长远角度来看采用三维扫描创新技术不仅提供了强有力的数据支撑，也大大降低了人力及资金的投入，减少成本。

效率得到解决，价格也相对便宜，其在工程项目中的应用也会更加普遍，从而提升构件的整体质量检查水平，保证构件的加工质量。

参考文献

[1] 李亚东. 数字模拟预拼装在大型钢结构工程中的应用[J]. 施工技术, 2012, 41(373): 23-26.

[2] 丁一峰, 陆华, 李文杰. 信息化预拼装在钢结构成品检测中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2012, 4(1): 52-56.

[3] 徐进军, 余明辉, 郑炎兵. 地面三维激光扫描仪应用综述[J]. 工程勘察, 2008, 12: 31-34.

[4] 石银涛, 程效军, 张鸿飞. 地面三维激光扫描建模精度研究[J]. 河南科学, 2010(2).

[5] 万程辉, 程效军, 贾东峰. 基于快速成型技术的点云压缩算法研究[J]. 测绘通报, 2012(6).

Research on the Quality Inspection Method of Bridge Steel Structure based on 3D Laser Scanning

Du Shenyun, Hu Wei

(*Management Research Institute of CTCE Group*, *Hefei* 230000, *China*)

Abstract: As a new means of data acquisition, 3d laser scanners can capture 3d laser point cloud data from the target quickly, accurately and efficiently, this breaks through the traditional methods of measurement and data processing. This paper summarizes the application of 3D laser scanning technology in the quality inspection of complex components of bridge steel structure.

Key Words: 3D Laser Scanner; Bridge Steel Structure; Quality Testing